

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Amini et al. (2024) mengenai perancangan mesin pengiris dan penggoreng umbi-umbian berbasis mikrokontroler ATmega 8535 menggunakan metode penelitian yang meliputi tahap perancangan mekanik, perancangan sistem kontrol, pembuatan alat, serta pengujian operasional mesin. Desain mekanik mesin terdiri dari motor induksi satu fasa yang dihubungkan dengan gearbox rasio 1:20 sebagai aktuator penggerak pisau pengiris, conveyor yang digerakkan motor DC untuk memindahkan hasil irisan, blower sebagai aktuator pengering, serta motor stepper sebagai aktuator penggerak wadah peniris pada proses penggorengan. Sistem kontrol menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 yang diprogram dengan bahasa C untuk mengatur seluruh proses kerja alat secara otomatis dan berurutan. Selain itu, sistem dilengkapi sensor thermokopel sebagai pendeteksi suhu minyak goreng agar proses penggorengan berjalan sesuai suhu yang ditentukan. Pengujian dilakukan pada setiap bagian alat, meliputi pengujian proses pengirisan, conveyor, pengeringan, penggorengan, serta pengujian konsumsi daya listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin mampu mengiris umbi-umbian sepanjang 8,5 cm dalam waktu 33 detik dengan hasil irisan yang seragam, conveyor dapat bekerja stabil dalam memindahkan bahan, dan proses penggorengan berlangsung pada suhu 160°C sesuai pengaturan sistem. Total konsumsi daya maksimum alat mencapai sekitar 3333,5 VA ketika seluruh komponen bekerja bersamaan, sedangkan biaya listrik proses penggorengan selama 15 menit diperkirakan sebesar Rp425,-. Kelemahan penelitian ini adalah belum adanya evaluasi kuantitatif terhadap kualitas hasil akhir produk, seperti tingkat kerenyahan dan kematangan, serta konsumsi daya alat yang masih relatif tinggi sehingga efisiensi energi dan pengujian pada skala produksi besar masih perlu dikembangkan lebih lanjut.



Gambar 2. 1 Mesin Pengiris Dan Penggoreng Umbi-Umbian

Penelitian yang dilakukan oleh Umaroh et al. (2023) mengenai perancangan mesin penggoreng bawang semi-otomatis dengan sistem kontrol suhu, timer, dan pengaturan kecepatan bertujuan untuk meningkatkan efektivitas produksi bawang goreng pada UMKM di daerah Sidoarjo. Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi dan wawancara terhadap mitra usaha, studi literatur, pembuatan desain konsep menggunakan Autodesk Inventor, analisis dan perhitungan elemen mesin, pembuatan prototipe, pengujian performa mesin, analisis kegagalan, hingga monitoring penggunaan mesin di lapangan. Mesin dirancang dengan kapasitas penggorengan dua kali lebih besar dibandingkan proses manual, yaitu mampu menggoreng 4 kg bawang dalam waktu 5 menit per proses. Sistem pengadukan menggunakan motor listrik sebagai aktuator utama untuk menggerakkan pengaduk secara otomatis sehingga proses pengadukan menjadi lebih efisien dan mengurangi kelelahan operator. Selain itu, mesin dilengkapi sistem kontrol suhu, timer, dan speed control untuk menjaga kestabilan proses penggorengan pada suhu 150–200°C. Penggunaan ECU (*Electronic Control Unit*) memungkinkan pengaturan kecepatan putaran pengaduk dan waktu penggorengan secara terkontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu meningkatkan kapasitas produksi dari 2 kg menjadi 4 kg per proses dengan kualitas penggorengan yang lebih higienis karena bagian tabung penggorengan dan pengaduk menggunakan material stainless steel. Mitra usaha juga menyatakan bahwa performa mesin stabil dan mampu meningkatkan produktivitas usaha hingga dua kali lipat. Namun, penelitian ini masih memiliki kelemahan, yaitu belum adanya analisis kuantitatif secara

mendalam terhadap kualitas akhir bawang goreng, seperti tingkat kerenyahan dan warna hasil gorengan. Selain itu, pengujian alat hanya dilakukan pada satu UMKM sehingga validasi penggunaan mesin pada skala industri kecil yang lebih luas masih terbatas. Aspek keselamatan kerja dan sistem pengendalian mesin juga belum dibahas secara rinci sehingga dapat menjadi bahan pengembangan pada penelitian selanjutnya.



Gambar 2. 2 Mesin Penggoreng Bawang Semi-Otomatis

Penelitian yang dilakukan oleh Yohandi et al. (2022) mengenai sistem penggorengan ikan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*) berbasis mikrokontroler bertujuan untuk mengatasi permasalahan risiko percikan minyak panas saat menggoreng ikan secara manual. Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi langsung di lapangan, studi literatur terkait PWM dan mikrokontroler, pembuatan prototipe alat, serta pengujian sistem untuk memastikan alat bekerja sesuai rancangan. Sistem ini menggunakan metode PWM untuk mengatur besar kecilnya duty cycle yang diberikan oleh mikrokontroler kepada aktuator berupa motor servo, sehingga torsi servo dapat disesuaikan dengan ukuran dan berat ikan. Pada sistem tersebut, motor servo berfungsi sebagai aktuator utama yang menggerakkan keranjang penggorengan untuk menurunkan dan mengangkat ikan secara otomatis dari minyak panas. Pengoperasian sistem dilakukan melalui tombol input untuk memilih ukuran ikan kecil, sedang, atau besar, kemudian mikrokontroler mengatur sinyal PWM sesuai kebutuhan torsi servo. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu secara otomatis meletakkan ikan ke

dalam minyak panas dan mengangkatnya kembali setelah proses penggorengan selesai, dengan durasi 5 menit untuk ikan kecil, 7 menit untuk ikan sedang, dan 10 menit untuk ikan besar. Sistem juga dilengkapi LCD sebagai media tampilan informasi dan push button sebagai input pemilihan mode penggorengan. Kelemahan dari sistem ini antara lain belum mampu melakukan pembalikan ikan secara otomatis selama proses penggorengan sehingga ikan hanya ter goreng pada satu sisi. Selain itu, sistem belum mendukung monitoring jarak jauh dan masih menggunakan minyak goreng dalam jumlah banyak sehingga kurang efisien serta kurang ramah lingkungan.



Gambar 2. 3 Sistem Penggorengan Ikan Menggunakan Metode PWM

Penelitian yang dilakukan oleh Putri et al. (2022) mengembangkan mesin pemotongan dan penggorengan singkong otomatis berbasis mikrokontroler untuk membantu produksi camilan khas Lima Puluh Kota, yaitu ganepo, yang berbentuk potongan dadu berukuran $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$. Metode penelitian meliputi perancangan sistem mekanik dan elektrik, karakterisasi komponen, serta pengujian kinerja mesin secara keseluruhan. Mesin dirancang menggunakan rangka stainless steel dengan dimensi $1200\text{ mm} \times 600\text{ mm} \times 300\text{ mm}$. Sistem mekanik menggunakan motor AC 1 HP (0,75 kWh) sebagai aktuator penggerak pisau untuk proses pemotongan singkong, sedangkan sistem kontrol menggunakan Arduino Uno R3 berbasis pengaturan waktu. Pada sistem otomatisasi, sensor fotodioda digunakan untuk mendeteksi keberadaan singkong melalui cahaya laser dot. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler untuk mengaktifkan relay yang menjalankan motor AC pemotong. Selama proses penggorengan, motor stepper digunakan sebagai aktuator pengaduk agar singkong tercampur merata di dalam

minyak panas, sedangkan aktuator linear berfungsi untuk mengangkat hasil penggorengan secara otomatis setelah matang. Selain itu, sistem juga dilengkapi fitur *text to speech* menggunakan speaker dan amplifier LM386 untuk memberikan informasi suara kepada operator bahwa proses penggorengan telah selesai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu memotong dan menggoreng singkong secara otomatis dengan kapasitas rata-rata 118,19 kg/jam dan efisiensi sebesar 65,66%. Rata-rata singkong yang berhasil dipotong mencapai 328,31 gram, sedangkan singkong yang berhasil dipotong dan digoreng sebesar 322,42 gram dari total 500 gram bahan uji. Karakterisasi komponen menunjukkan bahwa motor stepper dapat berputar sesuai program, aktuator linear mampu menarik beban hingga 800 N, dan sensor fotodioda bekerja optimal pada jarak 14 cm dengan tegangan 4,5 V. Kelemahan dari penelitian ini adalah kualitas penggorengan belum mencapai tingkat kematangan sempurna karena sistem penggorengan masih menggunakan metode berbasis waktu, bukan berdasarkan tingkat kematangan riil bahan. Selain itu, pada proses pemotongan masih terdapat singkong yang tersangkut sehingga tidak seluruh bahan dapat diproses secara optimal. Penelitian ini juga menyarankan pengembangan conveyor belt pada bagian pemotongan dan penerapan metode machine learning pada sistem penggorengan agar tingkat kematangan produk menjadi lebih akurat dan efisien.



Gambar 2. 4 mesin pemotongan dan penggorengan singkong otomatis

Penelitian yang dilakukan oleh Wirzal & Umar (2024) mengenai rancangan bangun pengiris bawang merah otomatis dengan sensor load cell berbasis IoT menggunakan ESP32 bertujuan untuk mengatasi keterbatasan produksi dan rendahnya efisiensi proses pengirisan bawang merah yang masih dilakukan secara manual. Metode penelitian yang digunakan meliputi perancangan sistem mekanik, elektronika, perangkat lunak, serta pengujian alat secara menyeluruh. Sistem

menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor load cell sebagai input pengukuran berat bawang hasil irisan, dan aplikasi Blynk berbasis IoT sebagai media monitoring dan pengontrolan melalui jaringan WiFi. Pada sistem ini digunakan aktuator berupa motor DC yang digerakkan melalui driver motor L298N untuk memutar pisau pengiris. Kecepatan putaran motor dikontrol menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*) sehingga menghasilkan variasi ketebalan irisan bawang. Semakin tinggi nilai PWM yang diberikan, maka putaran motor DC semakin cepat dan irisan bawang menjadi lebih tipis. Selain itu, sistem dilengkapi LCD untuk menampilkan data berat hasil pembacaan sensor serta tombol input untuk mengatur parameter kerja alat. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan terintegrasi dengan aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat mengatur kecepatan motor serta memantau hasil pengukuran secara real-time melalui smartphone. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi nilai PWM memberikan pengaruh signifikan terhadap kecepatan putaran motor DC dan ketebalan irisan bawang. Pada PWM 125 diperoleh kecepatan motor sebesar 1632 rpm dengan ketebalan irisan rata-rata 1,7 mm, PWM 175 menghasilkan kecepatan 2252 rpm dengan ketebalan 1,2 mm, sedangkan PWM 255 menghasilkan kecepatan 2835 rpm dengan ketebalan 0,8 mm. Sensor load cell mampu mengukur berat bawang dengan tingkat kesalahan sebesar 2% hingga 4%, di mana error cenderung meningkat pada kecepatan motor yang lebih tinggi. Pengujian juga menunjukkan bahwa peningkatan nilai PWM menyebabkan kenaikan tegangan, arus, daya, dan kecepatan motor secara signifikan. Alat ini mampu mengiris sekitar 1000 gram bawang merah dalam waktu sekitar 24,92 detik sehingga proses pengirisan menjadi lebih cepat dan efisien dibandingkan metode manual. Kelemahan yang ditemukan pada alat ini antara lain ketebalan irisan yang masih bervariasi pada nilai PWM tinggi, meningkatnya kesalahan pembacaan sensor load cell pada putaran motor tinggi, serta proses pengirisan yang masih dapat mengalami masalah bawang meloncat atau tersangkut pada sistem pemotongan. Oleh karena itu, peneliti menyarankan pengembangan lebih lanjut berupa penambahan jumlah mata pisau menjadi tiga atau empat buah agar kapasitas pengirisan meningkat, penggunaan bahan pisau yang tahan karat, serta penambahan mekanisme pendorong agar bawang tidak meloncat maupun tersangkut selama proses pengirisan.



Gambar 2. 5 pengiris bawang merah otomatis dengan sensor load cell
Tabel 2. 1 Gap Analisis

Nama Penulis & Tahun	Judul	Metode	Gap / Kekurangan
Alwi Wirzal & Umar (2023)	Rancang Bangun Pengiris Bawang Merah Otomatis dengan Sensor Load Cell Berbasis IoT	Pengembangan alat pengiris otomatis dengan sensor load cell, mikrokontroler ESP32, kontrol kecepatan motor DC	Variasi ketebalan irisan masih terjadi, eror pembacaan sensor meningkat pada kecepatan tinggi, penggunaan motor dan material masih bisa ditingkatkan
Chandra Mamonto et al. (2024)	Optimalisasi Alat Pengiris dan Penggiling Bawang Merah	Desain dan fabrikasi mesin pengiris dan penggiling menggunakan motor listrik 1/4 HP, pengujian kapasitas kerja	Belum mengintegrasikan sistem kontrol otomatis berbasis IoT atau mikrokontroler, alat masih bersifat mekanis tanpa kendali pintar

Nama Penulis & Tahun	Judul	Metode	Gap / Kekurangan
Fanny Anggoro et al. (2024)	Alat Pemotong Bawang Merah Otomatis Berbasis Arduino Uno dan Sensor Ultrasonik	Sistem otomatis dengan Arduino Uno dan sensor ultrasonic, sistem mekanik motor AC, v-belt, pulley	Putaran pisau relatif rendah (425 rpm), masih ada delay untuk antisipasi bawang tersisa, sensor ultrasonic kurang sensitif terhadap kemacetan
Moch. Syaiful Zuhri et al. (2021)	Rancang Bangun Alat 3 In 1 Pengolah Bawang yang Ergonomi untuk Home Industry	Integrasi alat pengupas, pengiris, penggoreng; motor dinamo 1 PK, pengaturan suhu elektrik dengan thermostat	Kapasitas dan skala masih terbatas untuk home industry, sistem energi belum dioptimalkan untuk efisiensi daya, masih ada campur tangan manual
Mareli Telaumbanua et al. (2025)	Rancang Bangun Kompor Biomassa Otomatis Berbasis Sensor Suhu dan Mikrokontroler	Sistem kontrol otomatis kompor biomassa dengan sensor suhu, screw feeder, fan blower, mikrokontroler	Fokus pada kompor biomassa, tidak terkait langsung dengan pengolahan bawang atau pengiris, kompleksitas komponen mekanik dan kendali tinggi

Nama Penulis & Tahun	Judul	Metode	Gap / Kekurangan
Ahmad Ansari Amini et al. (2024)	Rancang Bangun Mesin Pengiris dan Penggoreng Umbi-Umbian Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535	Mesin pengiris semi otomatis motor induksi 1 fasa, pengering dan penggorengan dengan kontrol mikrokontroler	Sistem semi otomatis, kecepatan motor rendah, kapasitas produksi belum optimal untuk skala industri besar, belum berbasis IoT

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Kontrol Sekuensial Berbasis Elektromekanik

Sistem kontrol sekuensial merupakan metode kendali otomatis berbasis logika urutan (*sequential logic*) di mana suatu tahapan operasi hanya dapat diaktifkan apabila tahapan sebelumnya telah menyelesaikan tugasnya secara sempurna dan memenuhi kondisi masukan tertentu (*step-by-step*). Dalam skema kendali ini, alur kerja mesin diatur sedemikian rupa sehingga membentuk rantai operasi yang terstruktur tanpa risiko terjadinya bentrokan instruksi antar-aktuator. Berbeda secara fundamental dengan penerapan mikrokontroler berbasis bahasa pemrograman seperti ATmega 8535 Amini et al. (2024) atau ESP32 Wirzal & Umar (2024) yang rentan terhadap potensi *hang*, kesalahan *firmware*, maupun gangguan interferensi elektromagnetik (*noise*) pada lingkungan industri, sistem sekuensial berbasis elektromekanik mengandalkan logika keras (*hardwired logic*). Sistem ini memanfaatkan sifat memori mekanis dan pengunci elektrik (*latching circuit*) dari sakelar serta sakelar pembatas untuk menyimpan status proses yang sedang berjalan. Pada pengaplikasian mesin penggorengan skala Usaha Kecil dan Menengah (UKM), pendekatan sekuensial *relay* ini memberikan keandalan kerja (*reliability*) yang sangat tinggi pada lingkungan operasi ekstrem yang berinteraksi langsung dengan uap minyak panas dan suhu tinggi, sekaligus menawarkan kemudahan perawatan (*maintainability*) tanpa membutuhkan perangkat lunak khusus.

2.2.2 Prinsip Sakelar Elektromagnetik dan Isolasi Galvanis (*Galvanic Isolation*)

Relay elektromekanik beroperasi menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika kumparan kawat (*coil*) menerima pasokan arus listrik, medan magnet yang dihasilkan akan menarik armatur mekanis di dalamnya untuk mengalihkan kontak sakelar dari kondisi terputus (*Normally Closed* / NC) menjadi terhubung (*Normally Open* / NO). Mekanisme peralihan kontak secara mekanis-listrik ini memungkinkan rangkaian arus kecil mengendalikan jalur arus utama yang berdaya jauh lebih besar. Fungsi krusial dari penerapan komponen ini dalam sistem otomatisasi adalah menyediakan *galvanic isolation* atau pengisolasi arus listrik secara fisik. Isolasi galvanis ini memisahkan rangkaian kendali arus searah tegangan rendah dari beban utama berdaya tinggi (seperti elemen pemanas dan motor penggerak). Pemisahan jalur ini sangat vital untuk mencegah dampak kerusakan akibat lonjakan arus (*voltage spike*) dan efek beban induktif balik yang sering menjadi kendala utama pada pengoperasian mesin penggoreng berkapasitas besar. Dengan demikian, panel kontrol aman dioperasikan oleh pengguna dan komponen pengendali terhindar dari kerusakan akibat *overcurrent*.

2.2.3 Konsep Penundaan Waktu (*Time Delay*)

Sistem penundaan waktu (*Time Delay*) merupakan metode kontrol proses berulang yang memanfaatkan konstanta waktu sebagai tolok ukur utama pengalihan status aktuator. Pada pewaktu industri jenis *On-Delay*, hitungan mundur durasi waktu akan dimulai secara otomatis begitu kumparan penggeraknya menerima pasokan sinyal listrik, dan pengalihan sakelar baru akan terjadi tepat saat durasi waktu yang disetel telah terpenuhi. Dalam konteks penggorengan bahan pangan, variabel waktu merupakan parameter kritis yang menentukan transformasi sifat fisik dan kimia bahan. Sebagaimana ditemui pada analisis kinerja penggorengan berbasis waktu pada mesin pemotong dan penggoreng otomatis Putri et al. (2022) serta pengaturan *timer* pada mesin penggorengan semi-otomatis Umaroh et al. (2023), pengontrolan durasi perendaman dan pengadukan secara konstan memainkan peranan kunci sebagai pengganti evaluasi kematangan manual. Penentuan durasi waktu yang presisi dan stabil mampu menjaga tingkat penguapan kadar air pada irisan bahan, sehingga menghasilkan produk dengan keseragaman

tingkat kematangan, tekstur renyah, serta warna yang konsisten di setiap siklus produksi.

2.2.4 Teori Konversi Torsi dan Karakteristik Motor Arus Searah (DC)

Motor Arus Searah (*Direct Current* / DC) mengonversi energi listrik menjadi gerakan mekanis putar melalui gaya Lorentz yang dihasilkan oleh interaksi medan magnet pada stator dan rotor. Secara umum, motor DC konvensional dirancang untuk menghasilkan kecepatan putar (*RPM*) yang sangat tinggi, namun memiliki daya dorong atau torsi yang relatif kecil sehingga mudah berhenti jika diberi beban berat. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, unit motor digabungkan dengan rangkaian roda gigi penurun kecepatan (*reduction gearhead/gearbox*). Berdasarkan hukum kekekalan daya mekanis, penurunan kecepatan sudut putaran mesin akan menghasilkan peningkatan torsi secara berbanding terbalik. Peningkatan torsi ini sangat krusial untuk mengeksekusi dua proses mekanis utama pada mesin penggorengan: pertama, untuk mengatasi gaya gesek dan kelembatan (*inertia*) bahan saat bilah pengaduk berputar di dalam minyak panas; kedua, sebagai penyedia daya mekanis yang besar pada mekanisme penarik/pengangkat wadah penampung saat mengangkat beban bahan baku beserta sisa minyak penggorengan setelah proses selesai, sebagaimana prinsip penggunaan aktuator pengangkat pada alat penggorengan otomatis (Putri et al., 2022).

2.2.5 Umpan Balik Posisi Mekanis (*Mechanical Feedback Control*)

Dalam sistem kendali otomatis *loop* terbuka maupun tertutup, keterandalan sistem sangat bergantung pada ketersediaan sinyal umpan balik (*feedback*) yang menandai batas akhir pergerakan fisik suatu komponen. Sakelar batas (*Limit Switch*) bertindak sebagai sensor batas mekanis yang mengonversi dorongan atau kontak fisik suatu benda menjadi sinyal listrik penanda untuk memutus, membalikkan, atau meneruskan urutan sekuensial kerja berikutnya. Penggunaan umpan balik berbasis kontak mekanis ini memiliki keunggulan ketahanan dibandingkan sensor non-kontak optik seperti fotodioda yang rentan mengalami penurunan kepekaan pembacaan akibat paparan uap minyak dan jelaga Putri et al. (2022), ataupun metode pengaturan posisi berbasis sinyal PWM Yohandi et al. (2022). Sakelar batas memberikan kepastian posisi henti yang sangat presisi pada

batas lintasan paling atas dan paling bawah dari mekanisme pengangkat, sekaligus menjamin keamanan operasional mesin agar motor penggerak tidak terus memaksakan putaran saat wadah telah mencapai titik henti maksimal.

2.2.6 Konversi Daya Elektrik (*Power Conversion*) dan Regulasi Tegangan

Setiap sistem pengontrol otomatis membutuhkan pasokan daya listrik searah (DC) yang konstan dan teregulasi untuk menggerakkan kumparan sakelar, unit pewaktu, serta aktuator mekanis. Proses konversi daya dari sumber listrik bolak-balik (AC 220V dari PLN) menjadi tegangan searah (DC) dilakukan menggunakan perangkat *Switching Mode Power Supply* (SMPS). SMPS bekerja dengan menyearahkan dan mengubah frekuensi tegangan pada tingkat tinggi menggunakan mekanisme *switching* elektronik, sehingga menghasilkan efisiensi konversi daya yang tinggi, ukuran fisik yang *compact*, serta keluaran tegangan DC yang sangat stabil meskipun terjadi fluktuasi pada tegangan masukan PLN. Pasokan arus DC yang stabil dan bebas dari penurunan tegangan (*voltage dip*) sangat vital untuk menjamin kumparan *relay* sekuensial dan *timer* tetap terenergi dengan baik, sehingga terhindar dari risiko *error* atau kegagalan kerja urutan sekuensial, sebagaimana pengaruh kestabilan konsumsi daya pada efisiensi kerja operasional mesin penggorengan (Amini et al., 2024).